

Fahrdynamik – Fahrsicherheit – Fahrerplatz

Conrad Klose, Jan Krüger, Henning Jürgen Meyer

Kurzfassung

Zur Verbesserung der Fahrdynamik und Fahrsicherheit werden vielfältige Ansätze diskutiert. Insbesondere auch klassische Themen wie die Traktionsleistung und Bodenverdichtung, aber auch die Fahrstabilität und der Fahrkomfort sind Gegenstand von Optimierungen. Anhand von aspektreicheren Modellen, Multi-Domänen-Simulationen und unter Verwendung moderner Ansätze wie künstlicher neuronaler Netze und Machine Learning werden Nischenbereiche erschlossen und Designentscheidungen in frühen Stadien des Produktentstehungsprozesses unterstützt. Weitere Forschungsansätze umfassen eine Unterstützung maschinenführender Personen durch zunehmend intelligentere Assistenzsysteme zur Handhabung komplexer Arbeitsaufgaben und zur Verbesserung des Nutzererlebnisses. Aber auch grundlegend veränderte Aufgabenbereiche und Konzepte zur Interaktion und Kollaboration des Menschen mit hochautomatisierten und autonomen Maschinensystemen sind Teil aktueller Forschungsarbeiten.

Schlüsselwörter

Fahrdynamik, Fahrsicherheit, Fahrkomfort, Fahrerassistenzsysteme

Ride Dynamics – Ride Safety – Driver's Place

Conrad Klose, Jan Krüger, Henning Jürgen Meyer

Abstract

A wide range of approaches are being discussed to improve vehicle dynamics and driving safety. In particular, conventional topics such as tractive performance and soil compaction, but also driving stability and ride comfort are targets of optimization. By means of refined models, multi domain simulations and by the use of modern approaches such as artificial neural networks and machine learning, niche areas are addressed and design decisions are supported in early stages of product development processes. Other research approaches include assistance for machine operators through increasingly intelligent driver assistance systems with the purpose to address complex work tasks and to improve the user experience. But also fundamentally altered fields of operation and concepts for the interaction and collaboration of humans with highly automated and autonomous machine systems are part of current research.

Keywords

ride dynamics, ride safety, ride comfort, driver assistance systems

Fahrdynamik

Ein Untersuchungsgegenstand, der sich durch die vergangenen Jahre zieht und weiterhin untersucht und erweitert wird, ist der bestehende Zielkonflikt zwischen hoher gewünschter Zugkraft einerseits, bei möglichst geringer Bodenverdichtung andererseits. So werden spezialisierte Reifenkonzepte entworfen, Reifendrucke bis an die Tragfähigkeitsgrenze reduziert oder auch Raupenlaufwerke eingesetzt.

Ein weiterer Ansatz zur Erhöhung der Traktionsleistung ohne gleichzeitige Erhöhung der Bodenverdichtung ist das Einbringen zusätzlicher Antriebe z. B. an Anbaugeräten oder als separate Einheit zwischen Traktor und Arbeitsgerät. In **Bild 1** ist eine Variante mit einem zusätzlichen Antriebsmodul dargestellt, das über die Wegzapfwelle des Traktors angetrieben wird und für eine Erhöhung der übertragbaren Zugkräfte an der Deichsel sorgt. Im Beispiel des dargestellten Arbeitsverbunds (Bild 1) kann die Zugkraft des Traktors von 14-16 kN durch das zusätzliche Antriebsmodul auf bis zu 30 kN verdoppelt werden [1]. Dadurch kann die spezifische übertragbare Leistung im Vergleich zu der von Standardtraktoren signifikant erhöht werden. Kritisch zu hinterfragen sind jedoch die Fahrstabilität der Gesamteinheit und die entsprechende Abstimmung der angetriebenen Achsen aufeinander. Bulgakov et al. führen diesbezüglich im Rahmen von drei Veröffentlichungen Untersuchungen zur Fahrstabilität und Horizontalschwingungsneigung der Gesamteinheit beim Feldeinsatz [2] und während Transportfahrten [3] durch.

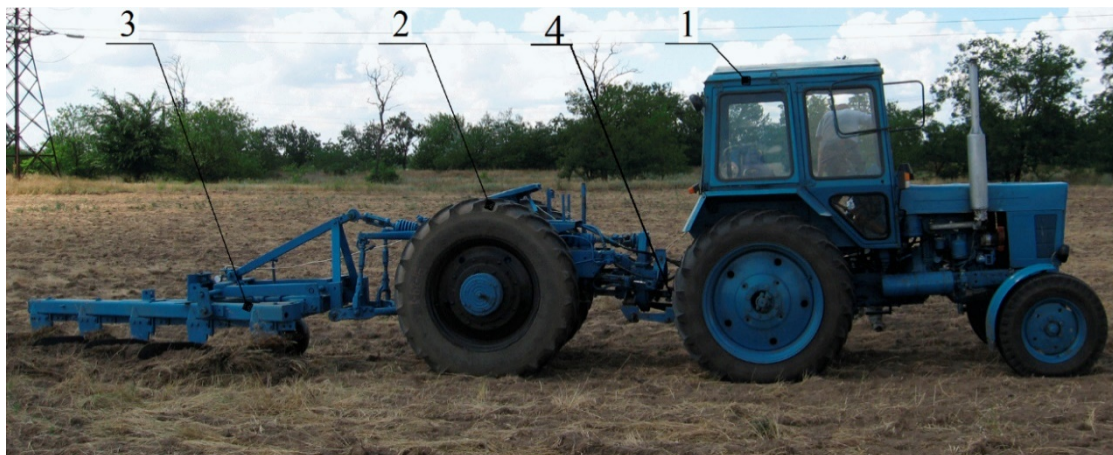


Bild 1: Modulare Kombination des Traktors mit zusätzlich angetriebener Achse. 1 - Das Leistungsmodul (der Traktor); 2 - Das Antriebsmodul; 3 - das gekoppelte Arbeitsgerät (Pflug); 4 - Wegzapfwelle [2]
Figure 1: The machine-and-tractor aggregate of a modular type. 1 - the power module (the wheeled tractor); 2 - the technological module; 3 - the aggregated agricultural machine (plough); 4 - cardan transmission [2]

Weiterhin untersuchen Bulgakov et al. die Voreilung der hinteren Traktorachse bezogen auf das Antriebsmodul bei Variation des Reifeninnendrucks [1].

Eine Untersuchung zur Bodenverdichtung von Kettenfahrwerken wird durch Mudarisov et al. durchgeführt. Dabei wird vorgeschlagen, die flache Stützgeometrie des untersuchten Ketten-

laufwerks anzupassen, um die auftretenden Belastungsspitzen der ersten und letzten Stützrolle zu minimieren und so für eine Vergleichmäßigung des Bodendrucks zu sorgen, um insgesamt eine geringere Bodenverdichtung zu erzielen [4].

Weitere Untersuchungen zu Kettenfahrwerken führen Wildner et al. am Beispiel einer Maschine zur grabenlosen Verlegung von Rohren für oberflächennahe Geothermieranlagen bzw. sogenannte Agrothermieranlagen durch. Die Besonderheit der betrachteten Maschine besteht darin, dass die vertikale Aufstandskraft der Maschine durch eine Variation horizontal ausfahrbarer Flügel am Verlegewerkzeug eingestellt werden kann. Dadurch kann indirekt auch der Schlupf des Kettenfahrwerks beeinflusst werden. Zur Untersuchung wird ein entsprechendes Simulationsmodell erstellt [5] und auf dessen Basis eine Simulationsstudie durchgeführt, in deren Rahmen das Systemverhalten mit Hilfe eines Zweipunktreglers zur Schlupfregelung untersucht wird. Es wird gezeigt, dass sich durch die aktive Schlupfregelung positive Effekte in Bezug auf die Bodenverdichtung ergeben können und sich Einsparpotenziale im Teillastbereich gegenüber einer ungeregelten Konfiguration bieten [6].

Neben diesen speziellen Anwendungen steht auch das Traktionsverhalten konventioneller Traktoren und der damit verbundenen Reifen-Boden-Charakteristik im Fokus aktueller Untersuchungen.

Der von der Fa. Trelleborg entwickelte PneuTrac besitzt einen Aufbau, der die Vorteile von Radialreifen und Raupenfahrwerken kombinieren soll. Mattetti et al. untersuchen die Traktionsleistung des PneuTrac und ermitteln eine 5,7 % höhere Zugkraft bei reduziertem Schlupf und eine etwas geringere Abhängigkeit von der Bodenbeschaffenheit verglichen mit einem ausgewählten Standard-Radialreifen. Die Tests fanden auf unbearbeitetem Lehm Boden mit 13 % Bodenfeuchte, auf mit einem Scheibenpflug bearbeiteten Lehm Boden mit 16 % Bodenfeuchte und auf verwittertem, tonhaltigem Lehm Boden mit 21 % Bodenfeuchte statt [7].

Das Triebkraft-Schlupf-Verhalten aktueller Radialreifen verschiedener Baugrößen, für Standardtraktoren mit bis zu 300 Kilowatt Nennleistung, untersuchen Meiners et al. in Feldversuchen. Auf Basis der Versuche werden Korrekturfaktoren für das Reifen-Boden-Modell des Hohenheimer Maschinenmodells vorgeschlagen, um den aktuellen Stand zur Anwendung kommender Reifentechnologien und Baugrößen abzubilden. Deren Charakteristik zeichnet sich durch eine stärker ausgeprägte Abhängigkeit der Triebkraft von der Reifengröße, ein Maximum der Triebkraft bei höherem Schlupf sowie einen stärkeren Einfluss des Reifeninnendrucks auf den Anstieg des Triebkraftbeiwerts bei geringem Schlupf aus [8].

Weitere Untersuchungen an großen Off-Road-Reifen auf festem Untergrund werden von Becker und Els durchgeführt. Vergleichend werden verschiedene Testmethoden wie Ausrolltests, Schleppversuche, Trommelprüfstände und Zugkraft-Test-Anhänger verwendet, um den Rollwiderstand zu bestimmen. Insbesondere Ausrollversuche werden für geringe Geschwindigkeiten als nur bedingt geeignet identifiziert, um Rollwiderstände von Reifen zu bestimmen [9].

Eine experimentelle Variante zur Bestimmung der Traktionsparameter mit Hilfe des sogenannten Cone-Index (CI) stellen Kim et al. vor. Hierzu werden Untersuchungen auf einem Reisfeld durchgeführt, für welches in einem definierten Raster die Bodenparameter untersucht wurden.

Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass Traktionsparameter mit Hilfe des CI-Werts bestimmt werden können, ohne den Schlupf als Parameter zu berücksichtigen [10].

Eine als Discrete Body Dynamics benannte Methode zur Simulation des dreidimensionalen dynamischen Verhaltens von Geländefahrzeugen im Allgemeinen wird durch Franco et al. vorgestellt. Verglichen mit Simulationsmethoden kommerzieller Mehrkörpersimulationswerkzeuge können mit dieser Methode signifikante Rechenzeitverbesserungen erreicht werden [11].

Eine Anpassung ihrer Standards an aktuelle Anforderungen und Entwicklungen führt die Internationale Gesellschaft für Geländefahrzeuge (International Society for Terrain-Vehicle Systems) durch. In diesem Zusammenhang werden Begriffsdefinitionen, Messgeräte zur Ermittlung von Bodenparametern sowie Abkürzungen und Symbole aktualisiert [12].

Fahrsicherheit

Rutschige, lose Untergründe und steile Anstiege, wie sie bei Übergängen von Reisfeldern zu Wirtschaftswegen auftreten, stellen ein Sicherheitsrisiko beim Führen von Traktoren dar. In diesem Kontext untersuchen Watanabe und Sakai die Lenkstabilität von Traktoren, die aufgrund von abhebenden und rutschenden Rädern durch Bodenunebenheiten und steile Anstiege gefährdet wird. Hierzu entwerfen die Autoren der Studie ein Modell, auf der Basis eines Einspurmodells, das um eine Beschreibung zur Modellierung abhebender Reifen erweitert wird, wodurch auf vorhergehende Erkenntnisse aus 2019 aufgebaut wird [13]. In einer Simulationsstudie wird anhand von zwei verschiedenen Szenarien (Überfahren eines Hügels bei anschließender Kurvenfahrt, Befahren einer Rampe bei anschließender Kurvenfahrt) gezeigt, dass die Traktorfrontachse mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit und abnehmendem Haftbeiwert, aufgrund verschlechterter Untergrundbedingungen, zum Abheben und Springen neigt. Infolgedessen kann es zum Ausbrechen aus der geplanten Fahrspur und zu Überschlägen kommen [14].

Um fahrende Personen bei auftretenden Überschlägen vor schweren Verletzungen zu schützen, kommen Überrollschutzsysteme (ROPS - Roll Over Protective Structure) zum Einsatz. Problematisch stellt sich der Einsatz von Überrollschutzsystemen auf Plantagen mit niedrigem Blätterdach dar. Beim Durchfahren entsprechender Plantagen ist es mit am Markt verfügbaren Systemen notwendig, klappbare Überrollschutzsysteme zu verwenden und diese permanent wegzuklappen, um die Pflanzen nicht zu beschädigen. Pascuzzi et al. untersuchen in diesem Zusammenhang systematisch die Gegebenheiten von Weinbergen im italienischen Apulien. Auf Basis der Untersuchung wird ein Prototyp vorgestellt, der den Anforderungen bei einer maximalen Höhe von 1,6 Metern mit festem Überrollschutz gerecht wird [15].

Fahrinstabilitäten aufgrund ungleichmäßiger Ladungsverteilung und Flüssigkeitsschwappen sind der Untersuchungsgegenstand einer Studie, die bezogen auf LKW veröffentlicht wurde. Chen und Ahmadian untersuchen entsprechende Szenarien in Multi-Domänen-Simulationen und schlagen eine angepasste Struktur des pneumatischen Feder-Dämpfer-Systems vor, um die Fahrstabilität zu erhöhen [16]. Auch für Transportfahren im landwirtschaftlichen Bereich

können diese Erkenntnisse relevant sein, da ähnliche Mechanismen bezüglich der Fahrstabilität zum Tragen kommen.

Ebenfalls relevant in Bezug auf die Fahrsicherheit und Fahrstabilität von Traktoren sind Fahr-szenarien, die aufgrund der EU-Richtlinie (EU) 167/2013, auch bekannt als „Tractor Mother Regulation“ (TMR), eintreten können. Nach zweijähriger Übergangsfrist führt das TMR seit Januar 2018 zu verbindlichen Änderungen im Typgenehmigungsverfahren für Land- und Forstmaschinen. Dadurch ergeben sich unter anderem Änderungen für Bremsanlagen in Zugmaschinen sowie Anhängern und Arbeitsgeräten. Nadlinger und Karner untersuchen experimentell die Auswirkungen der EU-Richtlinie auf die Fahrsicherheit unter Berücksichtigung möglicher Traktor-Anhänger-Kombinationen nach alter und neuer Genehmigungsvorschrift. Als sicherheitstechnisch problematisch werden Kombinationen mit einem Traktor nach TMR und Anhänger nach alter Genehmigungsvorschrift identifiziert. Durch die geänderte Pneumatikcharakteristik wird die Anhängerbremse erst später bzw. schwächer aktiviert, wodurch sich die Bremswirkung verstärkt über die Traktorreifen entfaltet und zum Blockieren der Traktorreifen führen kann (**Bild 2**). Als ebenfalls problematisch wird die Kombination aus einer Zugmaschine mit CVT-Getriebe und Anhänger nach alter Genehmigungsvorschrift beschrieben, da es durch eine Verzögerung mittels Einstellhebel zum ungebremsten Auffahren des Anhängers auf den Traktor kommen kann. Diesem Umstand wird jedoch durch automatische Streckbremsen Rechnung getragen [17].

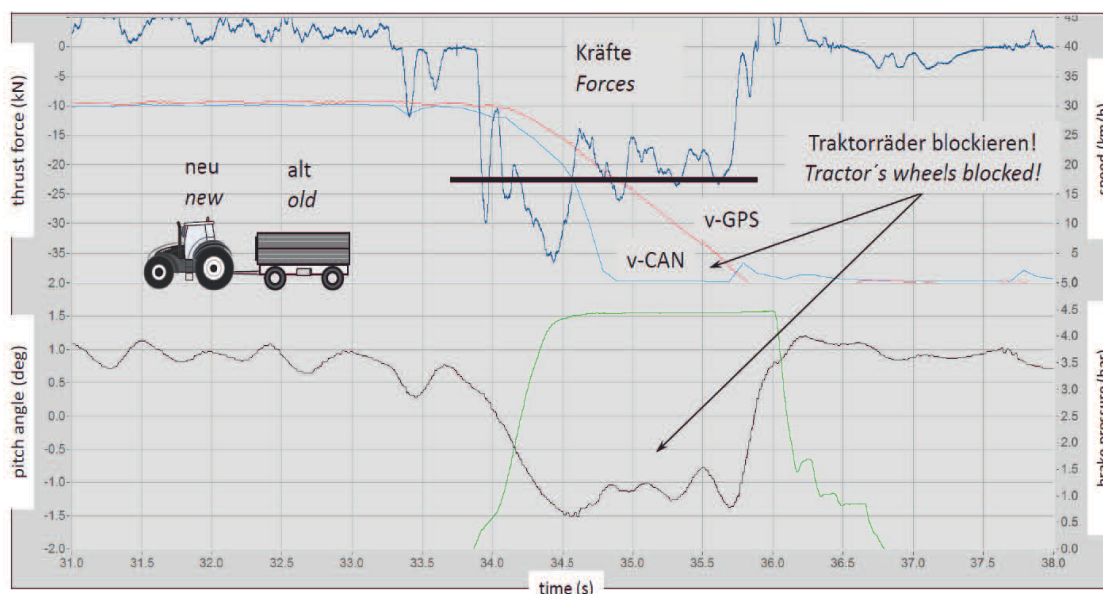


Bild 2: Stoppbremsung eines Traktors nach TMR mit einem Anhänger nach alter Zulassungsvorschrift bei 30 km/h [17]

Figure 2: Full stop braking of a tractor according to TMR with a trailer according to the old approval regulation at 30 km/h [17]

Auch NVH-Phänomene (Noise, Vibration, Harshness) stellen bei Überschreitung ertragbarer Grenzwerte eine Gesundheitsgefährdung für fahrzeugführende Personen dar. Jung stellt in diesem Zusammenhang einen Ansatz zur Reduzierung von induzierten Nickschwingungen

beim Arbeiten mit Großpackenpressen vor. Durch die oszillierende Bewegung des Pressenkolbens sowie Drehmomentspitzen an der Zapfwelle werden Traktornickschwingungen hervorgerufen. Abhilfe schafft ein in Tests erprobter Regelungsansatz, mit einer der Nickschwingung entgegen gerichteten Motorregelung zur Schwingungstilgung. Durch graduelle Reglereinstellungen sollen Anpassungen an geänderte Betriebsbedingungen, wie z. B. geänderte Erntegutzustände oder Massenströme sowie auch geänderte Reifeninnendrucke, ermöglicht werden [18].

Kolb und Krivenkov stellen ein Konzept für eine kraftunterstützte elektropneumatische Sitzfederung vor und ordnen dessen Performanz gegenüber herkömmlichen aktiven sowie passiven Systemen zur Sitzschwingungsdämpfung anhand verschiedener Anwendungsszenarien ein [19].

Von Maciejewski und Krzyzynski wird eine Simulationsmethode zur Optimierung der beeinflussbaren Parameter von passiven und aktiven Sitzschwingungsdämpfern vorgeschlagen, um ein besser abgestimmtes Dämpfungsverhalten zu erzielen. Auf Basis eines Simulationsmodells werden gezielt die viskoelastischen Eigenschaften des Systems optimiert und Regelstrategien für aktive Systeme angepasst. Erhaltene Pareto-Optima bezüglich der Schwingungsdämpfung und des Federwegs werden anschließend exemplarisch in Schwingungstests untersucht [20].

Eine weitere Anwendung einer Mehrgrößenoptimierung zur Verbesserung eines semi-aktiven Feder-Dämpfer Systems mit einer Gas-Öl-Emulsion als Druckmedium wird von Kwon et al. vorgestellt. Die Untersuchungen werden an einem Vollfahrzeugmodell mit Fahrer-Sitz-Schwingungsmodell durchgeführt [21].

Eine Möglichkeit, NVH-Kriterien durch Simulationen bereits in frühen Stadien von Produktentstehungsprozessen zu berücksichtigen, verfolgen Pasch et al. Hierzu wird ein Simulationsmodell entwickelt, mit dem die Luft- und Körperschallemissionen eines Standard-Traktors mit hydrostatisch-mechanisch leistungsverzweigtem Getriebe aufgrund von Druckpulsationen beschrieben werden können. Das Simulationsmodell besteht aus numerischer Hydraulik-, Strukturmechanik- und Akustiksimulation. Ein Vergleich der Ergebnisse des Modells mit Messungen auf einem Allrad-Akustik-Rollenprüfstand zeigt, dass die Charakteristik der Schallabstrahlung durch das Simulationsmodell wiedergegeben werden kann. **Bild 3** zeigt eine Gegenüberstellung des Schalldrucks beim Beschleunigen und Ausschwenken der hydraulischen Verstellpumpen [22].

Eine Komfortverbesserung für die maschinenführende Person streben auch Cazzaniga et al. an. Gegenstand der Optimierung ist eine Zahnrad-Lenkpumpe der Fa. Danfoss. Durch eine asymmetrische Verzahnung kann die Pulsationsfrequenz geändert werden, was zu einer Reduktion der wahrgenommenen Geräuschemission führt. Durch eine Vermeidung eines Doppelzahnflankenkontakts, wie er bei herkömmlichen geräuscharmen Zahnradpumpen zum Einsatz kommt, kann auch die Schallabstrahlung bei gealterter Pumpeneinheit niedrig gehalten werden [23].

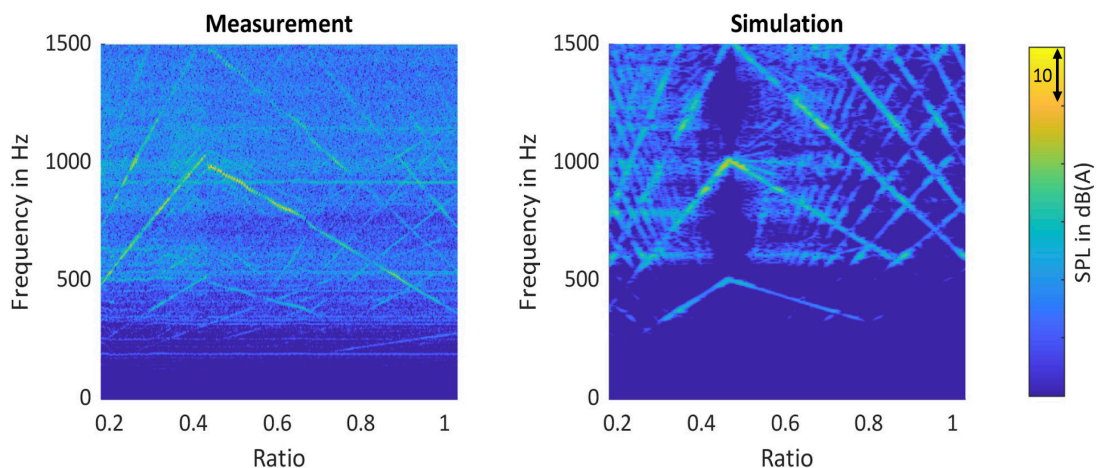


Bild 3: Gemessener und simulierter Schalldruckpegel (sound pressure level - SPL) in dB(A) beim Systemhochlauf mit einer Mikrofonposition oberhalb der Getriebeabdeckung [22]

Figure 3: Measured and simulated SPL in dB(A) for a microphone position over the gearbox cover for a run-up [22]

Fahrerplatz

Die Komplexität der Aufgaben fahrzeugführender Personen nimmt stetig zu, wird sich im Zuge einer voranschreitenden Automatisierung stetig verändern und es notwendig machen, nicht nur die geführte Maschine mit korrespondierenden Maschinenparametern einzustellen und zu überwachen, sondern gegebenenfalls ganze Maschinenverbände.

Um die Komplexität dennoch beherrschbar zu machen, sind neue, adaptive sowie intuitive Ansätze zur Bedienung und Überwachung sowie ausgereifte Assistenzsysteme notwendig.

Im Rahmen des Projekts Feldschwarm wird der Ansatz verfolgt, mehrere autonome Systeme zur Feldarbeit einzusetzen, die von einer geschulten Person überwacht und gesteuert werden müssen. Zur Erprobung von neuartigen Bedienkonzepten, zur Kommunikation des Projekts und Diskussion der Mensch-Maschine-Interaktion werden materielle, digitale und hybride Prototypen erstellt. Wanta et al. präsentieren eine Methode zur Beschreibung der Wahrnehmung, Interaktion, Diskussion von Benutzerrollen und Sicherstellung eines zielgerichteten Entwurfs und wenden diese auf die verschiedenen Prototypen an. Denkbar ist dieser Ansatz als Werkzeug zum gezielten Abbau von Unsicherheiten im Umgang mit und beim Einsatz von autonomen Maschinen [24].

Eine weitere Publikation im Kontext des Projekts Feldschwarm beschäftigt sich im Speziellen mit der automatisierten Werkzeugetkennung und Parameterspeicherung mittels RFID-Technologie sowie einer kamerabasierten Zustandsüberwachung der Werkzeuge, um dadurch die bedienenden Personen von Routineaufgaben zu entlasten [25].

Einen weiteren Ansatz zur Umsetzung von Assistenzsystemen, zum effizienteren Datenlogging sowie zur effizienteren Datenübertragung im Kontext von IoT-Anwendungen (Internet of Things) und Big-Data durch gezielte Klassifizierung des Maschinen- und Arbeitsprozesses stellen Riedl et al. vor. Dies erfolgt unter Zuhilfenahme von Machine-Learning-Algorithmen,

um Prozesszustände (z. B. Pflügen, Grubbern, Mähen, Straßenfahrt) und Prozessübergänge (z. B. Vorgewende oder Stillstand) zu identifizieren. Perspektivisch können auf dieser Basis Aktionen und Routinen aufgerufen und automatisiert werden [26].

Um die Erarbeitung hochautomatisierter oder autonom ausgeführter Arbeitsprozesse in der Landwirtschaft zu unterstützen, wendet Schmidt ein 3-Stufen-Modell an, um notwendige Arbeitsaufgaben einer maschinenführenden Person einer Traktor-Anbau-Kombination beim Grubbern zu abstrahieren und geeignet zu segmentieren. Zur Verdeutlichung der Prozesse und Hierarchieebenen wird dabei die Semantik geschlossener Regelkreise verwendet. Die vielfältigen Prozessschritte und Hierarchien, die beim Feldbearbeitungsprozess durch die bearbeitende Person umgesetzt und angewendet werden müssen, werden hierdurch schematisiert darstellbar und mittels technischer Systeme imitierbar [27].

Einen Ansatz zur stufenweisen Automatisierung und Autonomisierung im Bereich mobiler Arbeitsmaschinen unter Berücksichtigung der relevanten Sicherheitsstandards EN 16590 / ISO 25119 und EN ISO 13849 stellen Holler und Mueller vor. Dieser beinhaltet eine modulare Hardware- und Softwarestruktur zur stufenweisen Integration und Erweiterung [28].

Weitere aktuelle Forschungsgegenstände zum Fahrerplatz befassen sich mit der Nutzererfahrung, -zufriedenheit und Bedienbarkeit.

Kaufmann et al. stellen den methodischen Entwicklungsprozess einer adaptiven Bedienarmlehne dar, deren Konzept 2019 bereits auf der LAND. TECHNIK Konferenz in Hannover vorgestellt wurde [29] und nun als funktionsfähiger Prototyp bereits in Feldtests zum Einsatz kam. Die Bedienarmlehne ist so gestaltet, dass sie adaptiv an den Arbeitsprozess bzw. das Anbaugerät angepasst werden kann und möglichst intuitiv bedienbar ist. Erreicht wird der Ansatz unter anderem durch eine ergonomische Anordnung, wahlweise Anpassung und Deaktivierung verschiedener Funktionselemente sowie eine logische Übereinstimmung der Bewegungsrichtungen von Bedien- und Werkzeulementen [30].

Zur Evaluierung und Verbesserung der Bedienbarkeit und Benutzerfreundlichkeit von Touchterminals in mobilen Arbeitsmaschinen untersuchen Schröter et al. das Eye-Tracking als kostengünstigen aber aussagekräftigen Ansatz [31]. Mercati et al. zielen darauf ab, durch eine elektrohydraulische Lenkeinheit die Maschinenbedienbarkeit zu verbessern. Unterstützt werden unter anderem eine individuell einstellbare Lenkverstärkung, eine parametrierbare reaktive sowie nicht reaktive Steuerung, eine automatische Rückstellung in die Neutralposition sowie die Möglichkeit zur Übertragung haptischer Feedbacks [32].

Einen weiteren essentiellen Aspekt verbesserter Bedienbarkeit und erhöhter Sicherheit unübersichtlicher Arbeitsverbände stellen Kamerasysteme dar. Zur Flexibilisierung und Nutzung der Vorteile digitaler Videostreams, wie z. B. HDR-Repräsentationen (High Dynamic Range) und digitale Bildstabilisierung, gegenüber analoger Videotechnologie, stellen Niebrügge et al. eine Ethernet-basierte digitale Videoschnittstelle für ISOBUS vor. Darauf aufbauend wird die Entwicklung eines Video-Stacks sowie Apps und Integrationen erläutert, mit denen digitale Videos in Terminals und Software-Masken frei integriert werden können [33].

Einen anderen flexiblen Ansatz stellt Smits mit dem WiFi-Kamera-System von Continental vor. Der Aufstellungsort dieses Systems kann bedarfsweise geändert werden und gestattet Blickwinkel, die sonst nicht oder nur mit erheblichem Aufwand möglich wären. Mit Befestigungsmagneten kann die Kamera z. B. auch an Auslegerarmen und Teleskopladern sowie auch an Hindernissen befestigt werden (um die Arbeitsmaschine beim Rangieren aus der Sicht des Hindernisses wahrzunehmen). Außerdem können Halterungen (sog. Cradles) zur Definition fester aber beliebiger Positionen verwendet werden. Mittels RFID-Technologie werden zudem Parametrierungen abhängig vom Anbringungsort möglich. Das System besitzt auch das Potenzial, als Vorbau-Kamera-Monitor-System (VKMS) eingesetzt zu werden, ist für diesen Einsatzbereich derzeit aber noch nicht zertifiziert [34].

Weitere Untersuchungen beschäftigen sich mit einem Kollisionswarnsystem auf Basis von Nahbereichskameras, welches zunächst auf Gabelstaplern zum Einsatz kommt, aber auch für einen Einsatz im Agrarbereich denkbar ist [35]. Des Weiteren wird durch Jordan et al. eine Sensorfusion auf Basis eines künstlichen neuronalen Netzes vorgestellt, mit welcher hochauflösende RGB-Bilder um Tiefeninformationen mittels LIDAR ergänzt werden. Die entstehenden hochauflösenden 3D-Bilder können z. B. für Fahrszenarien, Trajektorienplanungen sowie auch für Ernte- und Bearbeitungsszenarien hochautomatisierter Arbeitsmaschinen verwendet werden [36].

Gerade im Zuge der Vernetzung, Automatisierung und Autonomisierung ergeben sich enorme Potenziale, aber auch Hürden und bislang nicht gelöste Herausforderungen. So sind sichere Bedien- und Interaktionskonzepte im Kontext von Mensch-Maschine-Interaktion bzw. Mensch-Roboter-Kollaboration zu untersuchen und abzusichern. Eine Diskussion zu entsprechenden Managementstrategien sowie zu den Themen Arbeitssicherheit und Ergonomie liefern Benos et al. [37].

Neben noch zu entwickelnden Technologien und zu untersuchenden Themenfeldern besteht häufig aber auch eine Diskrepanz zwischen technisch möglichen und praktisch umgesetzten Lösungen. Zum Teil bedarf es lediglich entsprechender Anpassungen und Abstimmungen. Durch Branchenuneinigkeit und firmeneigene Interessen wird dies jedoch bislang behindert, sodass, so Bernhardt et al., zum Teil automatisierte Insellösungen bestehen, hohe Automatisierungs- und Vernetzungsgrade und daraus entstehende Synergien, wie sie im Kontext von Industrie 4.0 bzw. Agrartechnik 4.0 angedacht sind, aber noch nicht zum Tragen kommen [38].

Neben technologischen Problemstellungen bestehen auch im Bereich der Produkthaftung Hindernisse durch einen zum Teil veralteten und stark zergliederten Rechtsrahmen, der den Markteintritt neuer Technologien erschwert oder behindert. Mörth und Pfeil stellen heraus, dass insbesondere Rechtsfragen zu Cybersicherheit, Fehlermanagement und autonomen Entscheidungsprozessen nicht oder nur unzureichend abgebildet sind und auch hier Anpassungsbedarf besteht, um intelligente und hochvernetzte Algorithmen und Maschinen als wichtigen Treiber und Chance für die Landwirtschaft zu nutzen und diese effizienter sowie nachhaltiger zu gestalten [39].

Zusammenfassung

Vielfältige Optimierungsansätze bestehender Systeme sorgen für fortschreitende Verbesserungen in den Bereichen Fahrsicherheit, Fahrdynamik sowie Fahrgesundheit und zielen darauf ab, die Bedienbarkeit, Zuverlässigkeit und das Nutzererlebnis maschinenführender Personen zu verbessern. Eine Antwort auf komplexer werdende Aufgaben sind zunehmend intelligente Assistenzsysteme, die Nutzerinnen und Nutzer bei der Erledigung von Routineaufgaben unterstützen und entlasten. Auch das Bestreben nach stärkeren Automatisierungs- und Autonomisierungsgraden zeichnet sich durch eine Vielzahl an technologischen Konzepten und Lösungen ab und könnte zukünftig das Aufgabenfeld von in der Landwirtschaft tätigen Personen maßgeblich verändern. Personen, die bislang eine Maschine mit entsprechenden Anbaugeräten bedient haben, könnten in Zukunft zur Überwachung und Aufgabenplanung ganzer Maschinenverbände eingesetzt werden oder mit hochautomatisierten Systemen kollaborieren. Aus der Kombination präziser, automatisierter und vernetzter Maschinen mit dem Erfahrungsschatz und der Problemlösungskompetenz des Menschen entsteht die Chance einer effizienteren und nachhaltigen Bewirtschaftung bei optimierter Handhabung der variablen Umgebungsbedingungen in der Landwirtschaft. Diesem Bestreben stehen momentan jedoch nicht nur technologische und sicherheitstechnische Probleme gegenüber, sondern auch rechtliche Hindernisse und Unsicherheiten sowie Hemmnisse durch proprietäre Einzellösungen, die zunächst überwunden werden müssen.

Literatur

- [1] Bulgakov, V. et al.: Kinematic discrepancy between driving wheels evaluated for a modular traction device. *Biosystems Engineering* 196 (2020), S. 88-96.
- [2] Bulgakov, V. et al.: A Mathematical Model of Plane-Parallel Movement of the Tractor Aggregate Modular Type. *Agriculture* 454 (2020) H. 10, S. 1-21.
- [3] Bulgakov, V. et al.: Motion stability estimation for modular traction vehicle-based combined unit. *Agronomy Research* 18 (2020) H. 4, S. 2340-2352.
- [4] Mudarisov, S. et al.: Soil compaction management: Reduce soil compaction using a chain-track tractor. *Journal of Terramechanics* 89 (2020), S. 1-12.
- [5] Wildner, D.; Herlitzius, T. und Berg, T.: Modell zur Analyse der Auswirkungen der dynamischen Lastverlagerung auf das Traktionsverhalten einer Rohrverlegemaschine. *LANDTECHNIK* 75 (2020) H. 4, S. 176-195.
- [6] Wildner, D.; Herlitzius, T. und Berg, T.: Concept development of a traction management system using the example of a pipe laying machine. *LAND.TECHNIK* 2020, 03.-04.11.2020, Online Conference. In: *VDI-Berichte* 2374, Düsseldorf: VDI-Verlag 2020, S. 387-394.
- [7] Mattetti, M. et al.: Tractive performance of Trelleborg PneuTrac tyres. *Journal of Agricultural Engineering* 51 (2020) H. 2, S. 100-106.
- [8] Meiners, A.; Böttinger, S. und Regazzi, N.: Triebkraft/Schlupf-Verhalten von Acker-schlepperreifen – praxisnahe Messung und Simulation mit dem Hohenheimer Maschinenmodell. *LANDTECHNIK* 75 (2020) H. 1, S. 1-13.

- [9] Becker, C. und Els, S.: Motion resistance measurements on large lug tyres. *Journal of Terramechanics* 88 (2020), S. 17-27.
- [10] Kim, W.-S. et al.: Traction performance evaluation of a 78-kW-class agricultural tractor using cone index map in a Korean paddy field. *Journal of Terramechanics* 91 (2020), S. 285-296.
- [11] Franco, Y. et al.: Three-dimensional dynamic model for off-road vehicles using discrete body dynamics. *Journal of Terramechanics* 91 (2020), S. 297-307.
- [12] He, R. et al.: Updated Standards of the International Society for Terrain-Vehicle Systems. *Journal of Terramechanics* 91 (2020), S. 185-231.
- [13] Watanabe, M. und Sakai, K.: Impact dynamics model for a nonlinear bouncing tractor during inclined passage. *Biosystems Engineering* 182 (2019) H. 1, S. 84-94.
- [14] Watanabe, M. und Sakai, K.: Numerical analysis of steering instability in an agricultural tractor induced by bouncing and sliding. *Biosystems Engineering* 192 (2020), S. 108-116.
- [15] Pascuzzi, S.; Anifantis, A. S. und Santoro, F.: The Concept of a Compact Profile Agricultural Tractor Suitable for Use on Specialised Tree Crops. *Agriculture* 123 (2020) H. 10, S. 1-10.
- [16] Chen, Y. und Ahmadian, M.: Countering the Destabilizing Effects of Shifted Loads through Pneumatic Suspension Design. *SAE International Journal of Vehicle Dynamics, Stability, and NVH* 4 (2020) H. 1, S. 5-17.
- [17] Nadlinger, M. und Karner, J.: Investigation of tractor-trailer brake-systems. *LAND. TECHNIK* 2020, 03.-04.11.2020, Online Conference. In: *VDI-Berichte* 2374, Düsseldorf: VDI-Verlag 2020, S. 329-334.
- [18] Jung, B.: Smart tractor powertrain control for improved ride comfort during large square baling operation. *Humanschwingungen* 2020, 01.-02.10.2020, Würzburg. In: *VDI-Berichte* 2370: VDI Verlag 2020, S. 31-40.
- [19] Kolb J. und Krivenkov K: Power-Modul zur Erhöhung des Fahrkomforts von gefederten Fahrersitzen in Land- und Baumaschinen. – Improvement of Ride Comfort at Suspended Seats of Agriculture and Construction Machines by Use of Power Module. *Humanschwingungen* 2020, 01.-02.10.2020, Würzburg. In: *VDI-Berichte* 2370: VDI Verlag 2020, S. 5-20.
- [20] Maciejewski, J. und Krzyzynski, T.: Computer-aided approach to the design of vibration reduction systems. – Methods and procedures for the optimal configuration of non-linear system behaviour. *Humanschwingungen* 2020, 01.-02.10.2020, Würzburg. In: *VDI-Berichte* 2370: VDI Verlag 2020, S. 175-184.
- [21] Kwon, K. et al.: Multi-objective optimisation of hydro-pneumatic suspension with gas-oil emulsion for heavy-duty vehicles. *Vehicle System Dynamics* 58 (2020) H. 7, S. 1146-1165.
- [22] Pasch, G.; Jacobs, G. und Berroth, J.: NVH-Systemsimulation eines Traktors mit hydrostatisch-mechanischem Leistungsverzweigungsgetriebe. *LANDTECHNIK* 75 (2020) H. 4, S. 301-315.

- [23] Cazzaniga, S. et al.: How to improve operator comfort in a tractor with low noise gear pump technology. LAND. TECHNIK 2020, 03.-04.11.2020, Online Conference. In: VDI-Berichte 2374, Düsseldorf: VDI-Verlag 2020, S. 335-344.
- [24] Wanta, H. et al.: Evaluation of Human-Machine Interactions with Autonomous Agricultural Systems through Cyber-physical Prototypes. LAND. TECHNIK 2020, 03.-04.11.2020, Online Conference. In: VDI-Berichte 2374, Düsseldorf: VDI-Verlag 2020, S. 245-266.
- [25] Hengst, M. et al.: Tool management, controlling and condition detection for highly automated/autonomous soil cultivation. LAND. TECHNIK 2020, 03.-04.11.2020, Online Conference. In: VDI-Berichte 2374, Düsseldorf: VDI-Verlag 2020, S. 73-82.
- [26] Riedl, J.; Puckmayr, D. und Brunner, D.: Traktor-Assistenzsysteme mittels Machine Learning. ATZ Heavy Duty 13 (2020) H. 2, S. 52-56.
- [27] Schmidt, M.: Beschreibung der Arbeitsaufgabe mit einer Traktor-Anbaugeräte-Kombination als Basis für die Automatisierung in der Landtechnik. LANDTECHNIK 75 (2020) H. 3, S. 161-175.
- [28] Holler, A. und Mueller, C.: From driver to automated driving – Proposal for a holistic step by step approach. LAND. TECHNIK 2020, 03.-04.11.2020, Online Conference. In: VDI-Berichte 2374, Düsseldorf: VDI-Verlag 2020, S. 413-424.
- [29] Schempp, T.; Kaufmann, A. und Stöhr, I.: A Field Tested Adaptive User-Interface – New Ways to Operate Tractors. LAND. TECHNIK AgEng 2019, 08.-09.11.2019, Hannover. In: VDI-Berichte 2361, Düsseldorf: VDI Verlag 2019, S. 235-242.
- [30] Kaufmann, A. et al.: Komplexität managen - Adaptive Bedienarmlehne. ATZ Heavy Duty 13 (2020) H. 2, S. 22-29.
- [31] Schröter, I. et al.: The application of mobile eye-tracking to improve the usability of touch terminals for farm vehicles: an example. LAND. TECHNIK 2020, 03.-04.11.2020, Online Conference. In: VDI-Berichte 2374, Düsseldorf: VDI-Verlag 2020, S. 233-244.
- [32] Mercati, S.; Bertoli, A. und Ognibene, C.: Next generation hybrid-electric power steering systems for agriculture machines. LAND. TECHNIK 2020, 03.-04.11.2020, Online Conference. In: VDI-Berichte 2374, Düsseldorf: VDI-Verlag 2020, S. 451-460.
- [33] Niebrügge, N.; Terhaag, M. und Ensink, M.: Full digital video solution as a forward-looking technology for High Speed ISOBUS. LAND. TECHNIK 2020, 03.-04.11.2020, Online Conference. In: VDI-Berichte 2374, Düsseldorf: VDI-Verlag 2020, S. 295-302.
- [34] Smits, T.: Neue Sichtfelder durch abnehmbare Wi-Fi-Kamera. ATZ Heavy Duty 13 (2020) H. 2, S. 10-17.
- [35] Ulrich, M. et al.: Kollisionswarnsystem für Gabelstapler. ATZ Heavy Duty 13 (2020) H. 4, S. 16-21.
- [36] Jordan, S. et al.: 3D Colour vision for machine automation and safety. – AI Sensor Fusion. LAND. TECHNIK 2020, 03.-04.11.2020, Online Conference. In: VDI-Berichte 2374, Düsseldorf: VDI-Verlag 2020, S. 345-352.
- [37] Benos, L.; Bechar, A. und Bochtis, D.: Safety and ergonomics in human-robot interactive agricultural operations. Biosystems Engineering 200 (2020), S. 55-72.

- [38] Bernhardt, H. et al.: Industry 4.0 and Agriculture 4.0 – The same or different? LAND. TECHNIK 2020, 03.-04.11.2020, Online Conference. In: VDI-Berichte 2374, Düsseldorf: VDI-Verlag 2020, S. 167-175.
- [39] Mörth, F. und Pfeil, J.: Legal Risks and Chances of Automation in Agriculture – Is EU regulation stifling or promoting innovation? LAND. TECHNIK 2020, 03.-04.11.2020, Online Conference. In: VDI-Berichte 2374, Düsseldorf: VDI-Verlag 2020, S. 93-102.

Autorendaten

M. Sc. Conrad Klose ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachgebiet Konstruktion von Maschinensystemen an der Technischen Universität Berlin.

Dr.-Ing. Jan Krüger ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachbereich Ingenieurwissenschaften - Technik und Leben an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin.

Prof. Dr.-Ing. Henning J. Meyer ist Leiter des Fachgebietes Konstruktion von Maschinensystemen an der Technischen Universität Berlin.

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Wissenschaftliches Review / Scientific Review

Erfolgreiches Review am 01.03.2021

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Klose, Conrad; Krüger, Jan; Meyer, Henning Jürgen: Fahrdynamik – Fahrsicherheit – Fahrerplatz. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2020. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2021. S. 1-13

Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202012111243-0>

Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2020/chapter/fahrsicherheit.html>

Dieser Beitrag wird unter einer CC-BY-NC-ND 4.0 Lizenz veröffentlicht.